

УДК 53.04

**ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО
МАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ**

А.В. Строкова, Б.В. Федоров, В.Ф. Новиков,
Е.В. Рогалева*

Тюменский государственный нефтегазовый университет
*Федеральное бюджетное учреждение «Государственный
региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний в Тюменской области,
Ханты-Мансийском автономном округе–Югра,
Ямало-Ненецком автономном округе», г. Тюмень
E-mail: alexandra.strockova@yandex.ru

Работа посвящена созданию датчиков, которые не нуждаются в соединительных проводах, а съём информации можно осуществлять с помощью датчиков магнитного поля или катушки. Для таких случаев полезным могли бы быть преобразователи (датчики) в виде магнитной проволоки. Физической основой работы такого преобразователя является необратимый или квазиобратимый магнитоупругий эффект. Приведены результаты исследований необратимых и квазиобратимых изменений магнитного поля рассеяния проволочного образца из стали К40 при ее деформации.

Ключевые слова:

Датчик деформации, сталь, магнитоупругий эффект, магнитное поле рассеяния.

Определение деформации железобетонных конструкций, пластмассовых и композитных материалов можно осуществлять с помощью наклеенных тензодатчиков [1, 2]. Надежность использования тензодатчиков обусловлена качеством их приклейки. Они также нуждаются в соединительных проводах, подвод которых может быть неудобен или даже невозможен. Актуальным является вопрос о создании датчиков, которые не нуждаются в соединительных проводах, а съём информации можно осуществлять с помощью датчиков магнитного поля или катушки. Для таких случаев полезным могли бы быть преобразователи (датчики) в виде магнитной проволоки. Проволочный датчик деформации может быть прикреплен к опорам или приварен к материалу конструкции (образца).

Физической основой работы такого преобразования являются необратимые или квазиобратимые магнитоупругие явления [3]. Магнитоупругое размагничивание ферромагнетика заключается в необратимом изменении остаточной намагниченности при приложении напряжений. Квазиобратимое магнитоупругое явление (пьезомагнитный эффект остаточной намагниченности) заключается в следующем: у некоторых ферромагнитных сплавов после их намагничивания и приложения много-

Строкова Александра Владимировна, студент кафедры «Физика, методы контроля и диагностики» Тюменского государственного нефтегазового университета.

E-mail: alexandra.strockova@yandex.ru
Область научных интересов: физические методы неразрушающего контроля.

Федоров Борис Владимирович, канд. физ.-мат. наук, профессор, доцент кафедры «Физика, методы контроля и диагностики» Тюменского государственного нефтегазового университета.

E-mail: alexandra.strockova@yandex.ru
Область научных интересов: физические методы неразрушающего контроля.

Новиков Виталий Федорович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика, методы контроля и диагностики» Тюменского государственного нефтегазового университета.

E-mail: physics1@tgngu.tyumen.ru
Область научных интересов: физика магнитных явлений в твердых телах, физические методы неразрушающего контроля.

Рогалева Екатерина Васильевна, инженер по метрологии и стандартизации Федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тюменской области, Ханты-Мансийском автономном округе–Югра, Ямало-Ненецком автономном округе», г. Тюмень.

Область научных интересов: физические методы неразрушающего контроля.

кратных нагрузок в упругой области остаточная намагниченность не исчезает. А последующие нагружения сопровождаются установившимся квазиобратимым изменением намагниченности (и соответственно магнитного поля рассеяния образца).

Целью работы явилось исследование необратимых и квазиобратимых изменений магнитного поля рассеяния проволоочного образца из стали К40 при ее деформации.

Образец в виде проволоки диаметром $d = 1$ мм, длиной $l = 100$ мм намагничивали постоянным магнитом до насыщения. Измерение нормальной составляющей магнитного поля рассеяния H осуществлялось с помощью феррозондового магнитометра МЦ-3.003, датчик которого располагался вблизи конца образца. Проволока нагружалась на разрывной машине Р50 со скоростью $v = 0,1$ мм/мин. в упругой области (до 100, 150 и 190 Н). Для уменьшения влияния магнитного поля машины растяжения образец присоединялся к стальным захватам трубы с помощью латунных немагнитных стержней, которые разрывали магнитную цепь. При первом нагружении необратимо снимается часть остаточной намагниченности (своего рода магнитоупругая «память»), а после многократного (до 20 циклов) нагружения происходит квазиобратимое изменение намагниченности.

С помощью компьютерных программ «Испытание металла» и «DigMag3» регистрировалась величина магнитного поля H и приложенная нагрузка F .

На намагниченный участок проволоки помещалась катушка с микровеберметром Ф192, затем сдвигалась, и по показаниям гальванометра вычислялась намагниченность. Вблизи образца помещался датчик магнитного поля, и находился коэффициент зависимости напряженности магнитного поля вблизи образца от его намагниченности. Эта зависимость оказалась линейна для образцов цилиндрической формы. Таким образом, была вычислена остаточная намагниченность образца по известным значениям напряженности магнитного поля.

Деформационное размагничивание образца (необратимое магнитоупругое изменение магнитного поля рассеяния) иллюстрируется рис. 1. На рис. 1 показано, что остаточная намагниченность в начале до нагрузки 600 МПа убывает с увеличением однократно прикладываемых механических напряжений до 50 %. При дальнейшем нагружении величина поля остается практически неизменной. Таким образом, разрабатываемый материал способен «запомнить» величину пиковых напряжений в диапазоне 0..500 МПа.

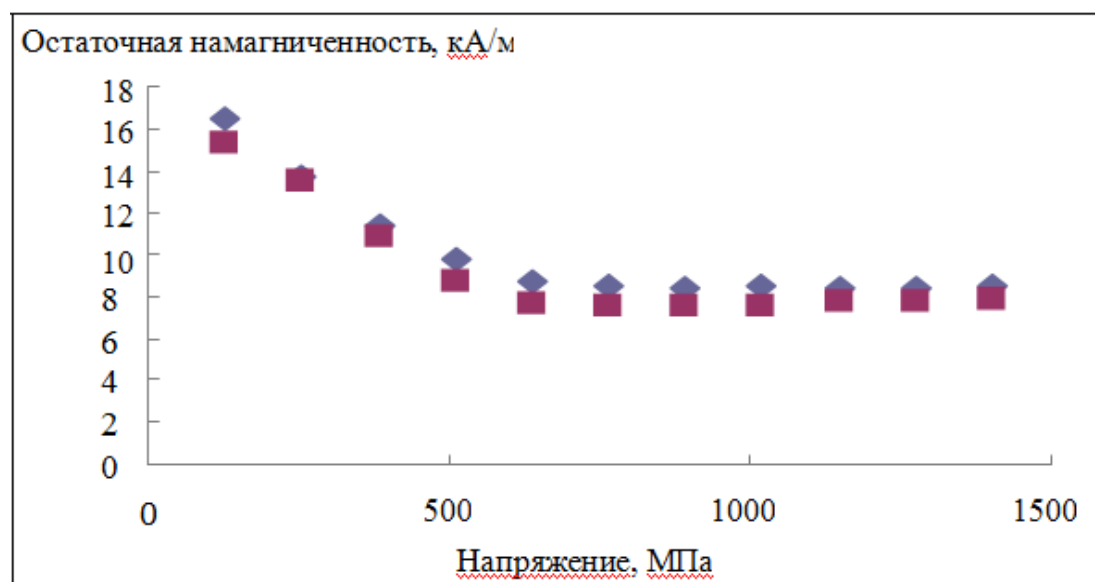


Рис. 1. Зависимость локальной остаточной намагниченности (кА/м) от напряжения (МПа) для двух образцов, отпущенных при 400 °С

Характер квазиобратимого изменения магнитного поля рассеяния показан на рис. 2 (по полученным данным строилась зависимость $H = f(\sigma)$). Видно, что с увеличением нагрузки нормальная составляющая магнитного поля рассеяния H монотонно растет. Затем с уменьшением

нагрузки напряженность поля убывает до первоначального значения. При разгрузке напряженность поля имеет более низкие значения, чем при нагружении. Поэтому зависимость напряженности магнитного поля от приложенного напряжения представляет собой петлю магнитоупругого гистерезиса. Опыт показал, что с увеличением максимально прикладываемой силы в диапазоне от 100 до 190 ньютонов петля становится уже.

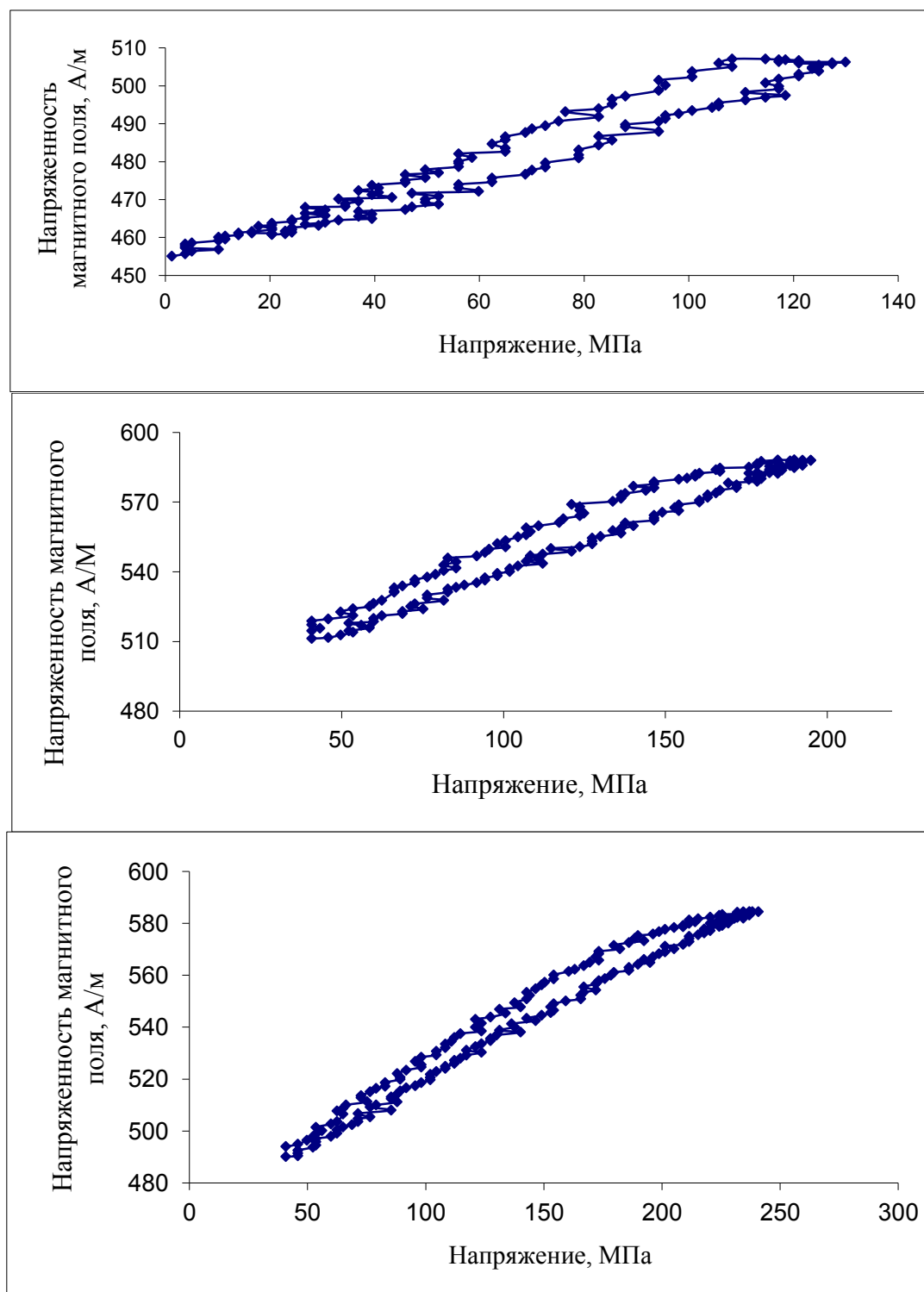


Рис. 2. Связь между величиной механического напряжения и напряженностью магнитного поля рассеяния для образца K40, отпущенного при температуре 600 °C

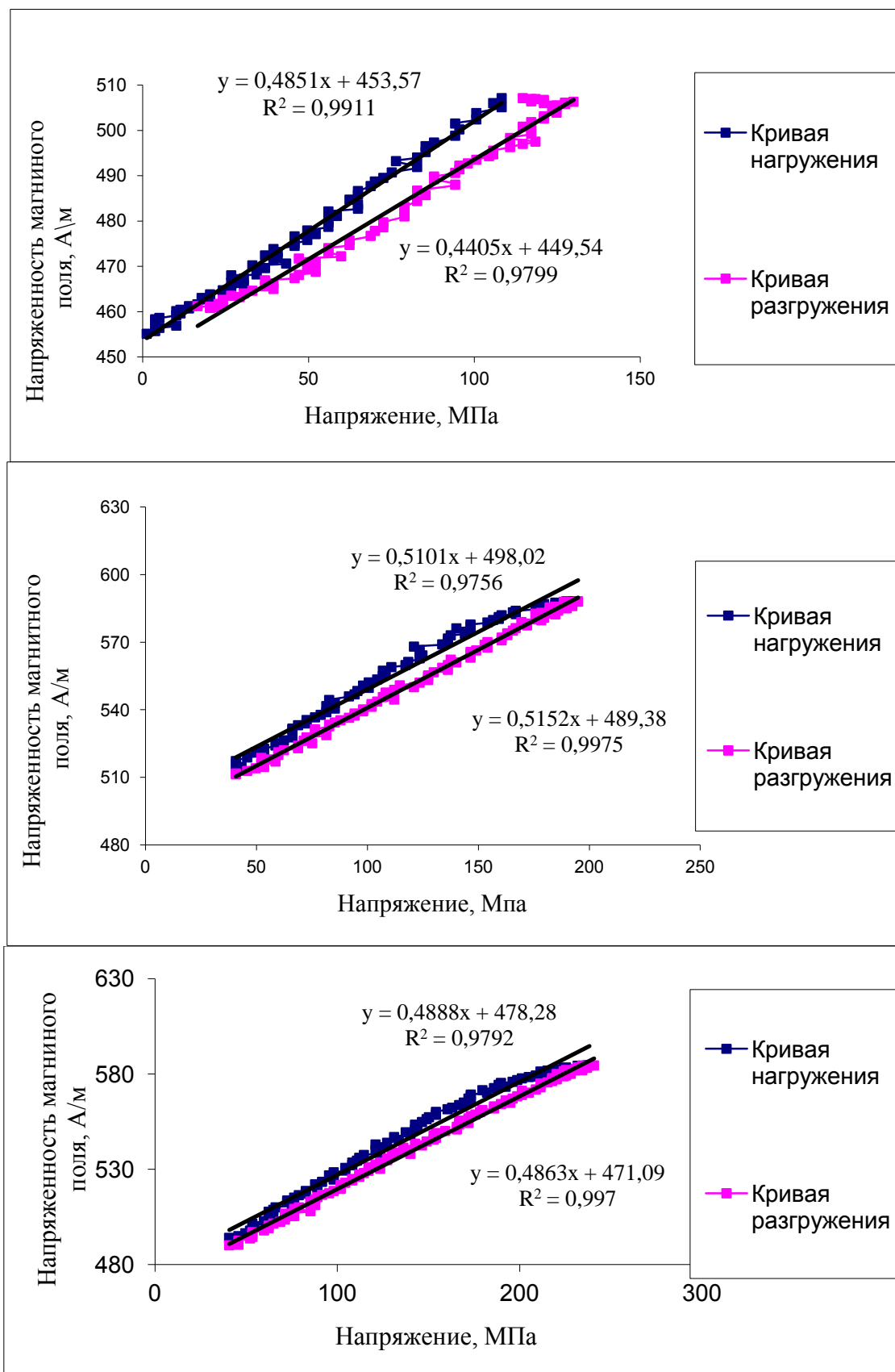


Рис. 3. Построение линий тренда по кривым нагружения и разгрузки

Строили линии тренда (рис. 3) для кривых нагружения и разгружения и составили уравнения, в которых допускалось, что зависимость напряженности магнитного поля от напряжения близка к линейной.

По аппроксимированным кривым определялась тензочувствительность материала при различных значениях прикладываемых напряжений. Из таблицы видно, что с увеличением нагрузки величина $d\sigma/dH$ растет, что отражает нелинейность характера зависимости $H=f(\sigma)$.

Таблица. Изменение тензочувствительности материала от величины приложенной нагрузки

Нагрузка, Н	100	150	190
$H_{нач}$, А/м	454,6	513	494
H_{max} , А/м	507,1	588,1	584,5
$\sigma_{нач}$, Мпа	39,5	40,7	40,76
σ_{max} , Мпа	130,3	194,90	240,76
$d\sigma/dH$	1,73	2,05	2,2

Выводы

В зависимости от режима термообработки стали К40 превалирует либо эффект магнитоупругого размагничивания (память), либо квазиобратимое изменение намагниченности. Таким образом, сталь К40, отпущенная при 400 °С, обладает необратимым магнитоупругим эффектом и может быть использована для создания запоминающего пикового датчика деформации (силы) в режиме памяти, а тот же материал, отпущенный при 600 °С, обладает пьезомагнитным эффектом и может быть использован для создания преобразователя деформации (силы) для работы в режиме on-line.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение, 1983. – 248 с.
2. Ботвина Л.Р. Разрушение: кинетика, механизмы, общие закономерности. – М.: Наука, 2008. – 334 с.
3. Новиков В.Ф., Бахарев М.С. Магнитная диагностика механических напряжений в ферромагнетиках. – Тюмень: Вектор Бук, 2001. – 220 с.

Поступила 27.11.2012 г.